

Initialisierung des LM mit künstlichen Eingangsdaten zur Abschätzung orografischer Effekte auf die Niederschlagsverteilung bei idealisierten Strömungssimulationen

Janek Zimmer

Zusammenfassung

Das LokalmodeLL (LM) wurde für eine Reihe von Sensitivitätsuntersuchungen bezüglich orografischer Beeinflussung von Niederschlag verwendet. Für die Initialisierung des Modells mit Anfangs- und Randdaten wurde ein Schema entwickelt, welches eine horizontal homogene und stationäre Strömung aus einem einzelnen Vertikalprofil der benötigten atmosphärischen Variablen erstellt. Dabei wird hier auch der horizontale Luftdruckgradient berücksichtigt, wodurch eventuelle Auswirkungen der Coriolisterme auch ohne eine sehr große Entfernung des Zielgebietes vom Modellrand untersucht werden können.

Simulationen mit idealisierten Eingangsfeldern können zur Verdeutlichung des Einflusses eines orografischen Hindernisses auf das dreidimensionale Strömungsfeld dienen. Außerdem sind sie zur Validierung bestimmter Parametrisierungen geeignet, da sich im Gegensatz zu realen Randdaten keine überlagerten synoptisch-skalierten Störungen im Modellgebiet befinden. Die hier verwendete Konvektionsparametrisierung nach Tiedtke (1989) zeigt unterschiedlich ausgeprägte Niederschlagsverteilungen und Flächenmittel in Abhängigkeit von der unterliegenden Orographie.

Summary

The LokalmodeLL (LM) has been used for a series of sensitivity studies treating orographic modification of precipitation. An initialization technique has been developed which generates a horizontally homogeneous and stationary flow out of a single vertical profile of the required atmospheric variables. Herein, the horizontal pressure gradient is considered as well, allowing to investigate the influence of the Coriolis terms without the need for the area under investigation to be far away from the model boundaries.

Simulations with idealized initialization fields can help to illustrate the influence of orographic obstacles on the three-dimensional flow field. Furthermore, they enable to validate certain parameterizations because of the missing synoptic-scale disturbances, which are present using real boundary data. The chosen parameterization of convection after Tiedtke (1989) shows different distributions of precipitation and its area-averaged values depending on the underlying orography.

1. Einleitung

Das Lokalmmodell (LM) des Deutschen Wetterdienstes besitzt die Möglichkeit, eine horizontal homogene Strömung unter Vorgabe von eindimensionalen Temperatur-, Feuchte- und Windprofilen zu simulieren. Hierbei ist es allerdings nur dann möglich, den zu dem vorgegebenen Windfeld gehörigen Gradienten des Luftdrucks zu berücksichtigen, wenn sich das zu untersuchende Teilgebiet (z.B. die Orografie) in ausreichend großem Abstand vom

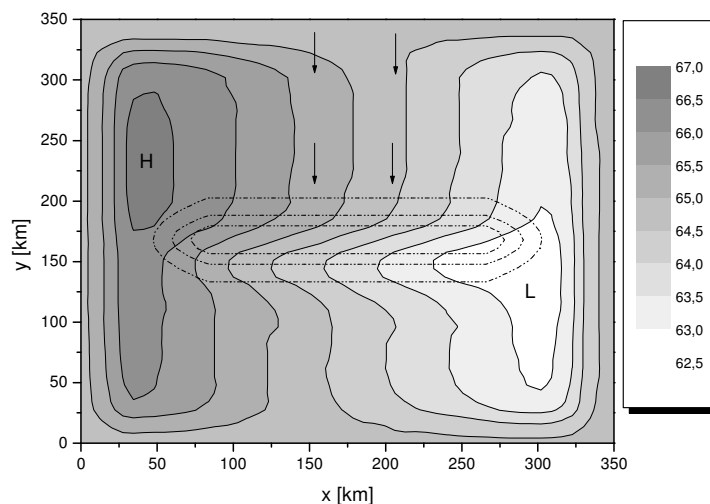


Abb. 1:

Geopotentielle Höhe des 925 hPa-Niveaus (schattiert, in gdam) sowie topografische Erhebung (gestrichelt) im Intervall von 200 m. Die dargestellte Druckkonstellation stellt sich für eine mit dem LM simulierte Nordanströmung ein, wenn keine Berücksichtigung des Luftdruckgradienten an den Modellrändern stattfindet.

Modellrand befindet. Wird der Abstand zu klein gewählt, überdecken Randeffekte die betrachtete Strömung im Modellinnern, da das LM keinen horizontalen Druckgradienten an den äußeren Gitterzellen erzeugt (s. Abb. 1 als ein ähnliches Beispiel). Da jedoch auch bei sehr großem Modellgebiet eine Störung der Strömung im Modellinnern nicht auszuschließen ist und sich zudem der Rechenaufwand extrem erhöht, wird hier ein weiterentwickeltes Schema zur Initialisierung mit künstlichen Eingangswerten vorgestellt.

2. Initialisierungsverfahren

Für die Generierung des homogenen Strömungsfeldes wird ein Vertikalprofil von Temperatur T , spezifischer Feuchte q_v und Wolkenwasser q_c , sowie der Geschwindigkeitskomponenten u , v und w benötigt. Als erster Schritt erfolgt die hydrostatische Anpassung des vertikalen Druckverlaufs ausgehend vom vorgegebenen Bodendruck p_s , damit von den Rändern ins Modellinnere wandernde Schwerewellen verhindert werden. Diese Anpassung geschieht iterativ zur nächst höheren Modellfläche entsprechend der Beziehung

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g(\rho + \rho') \quad \text{mit} \quad \rho = \frac{p}{RT_v}. \quad (1)$$

Anschließend wird dieses Ausgangsprofil in der Mitte des nördlichen Modellrandes platziert und das dreidimensionale horizontale Druckfeld gemäß des geostrophischen Gleichgewichts

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = fv \quad \text{und} \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = -fu \quad (2)$$

berechnet. Innerhalb der planetaren Grenzschicht wird dieses Gleichgewicht bestehend aus Druckgradient- und Corioliskraft durch die Reibungskraft erweitert. Die daraus resultierende

Abschwächung der Windgeschwindigkeit sowie die Drehung des Windvektors wird unterhalb einer festgelegten Höhe (hier: 800 m) durch polynomische Funktionen angenähert. Diese wurden wiederum mithilfe von LM-Testläufen aus dem Modellinnern extrahiert und lieferten keine signifikanten Änderungen des bodennahen Windfeldes bei den späteren Simulationen. Da die entstandene Druckverteilung nun wiederum von der erforderlichen hydrostatischen Balance abweicht aufgrund der Druckänderung gegenüber dem balancierten Ausgangsprofil, muss eine weitere Anpassung bezüglich der Dichte ρ erfolgen. Nach Holton (1992) setzt sich der Gesamtdruck aus dem horizontal gemittelten hydrostatischen Druck $\bar{p}(z)$ und einer Abweichung $p'(x,y,z)$ von ersterem zusammen. Für gleichförmige Bewegungen befinden sich Stördruck p' und die Dichtestörung ρ' wieder im hydrostatischen Gleichgewicht, wenn

$$\frac{\partial p'}{\partial z} = -g\rho' \quad (3)$$

gilt. Die erforderliche Dichtestörung ρ' wird dabei über die virtuelle Temperaturabweichung T_v' wiederum iterativ bestimmt. Der sich nachfolgend ergebende horizontale Temperaturgradient ist gemäß dem höhenabhängigen Druckgradienten von Windstärke und Windscherung abhängig. Innerhalb der Grenzschicht wird T_v' allerdings analog dem Druckgradienten zum Boden hin konstant gehalten, so dass die Iteration auch hier erst oberhalb von 800 m (Höhe der Grenzschicht) vorgenommen wird.

3. Ausgewählte Simulationsergebnisse

Um das Verhalten der zur Erfassung von Konvektion im LM verwendeten Parametrisierung nach Tiedtke (1989) zu untersuchen, wurde eine latent labil geschichtete, feuchte Luftmasse mit Bodentaupunkten von 16°C angenommen. Eine kräftige Luftströmung aus nördlichen Richtungen ($U_0=15\text{ ms}^{-1}$) ist dabei nötig, um mithilfe von Advektion die bodennahe Überhitzung durch die Strahlung zu verhindern, wodurch es sonst bereits kurz nach Eintritt in

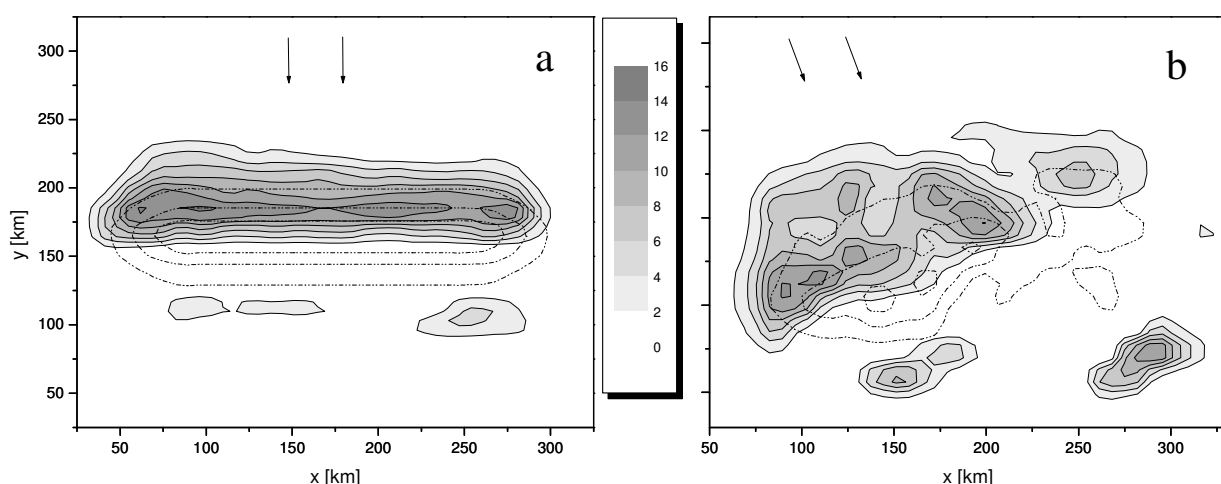


Abb. 2:

Stundenwerte des Niederschlags zum Zeitpunkt $t=12\text{ h}$ (schattiert, in mmh^{-1}) sowie topografische Erhebung (gestrichelt) im Intervall von 200 m für a) einen glockenförmigen Bergrücken und b) ein Modell der realen Erzgebirgsorografie. Die Pfeile kennzeichnen die jeweilige Anströmungsrichtung senkrecht zum Gebirgskamm.

das Modellgebiet zu konvektiven Umlagerungen kommen würde. Dasselbe vertikale Strömungsprofil ist sowohl für einen idealisierten, glockenförmigen Bergrücken als auch für einen Ausschnitt der realen Erzgebirgsorografie initialisiert worden. Die Niederschlagsrate nach 12 Stunden ist für beide Fälle in Abb. 2 dargestellt. Bedingt durch ähnliche orografisch induzierte Vertikalbewegungen an den Hängen weisen auch die Niederschlagsmaxima dieselbe Größenordnung auf. Besonders im Fall des homogenen Glockenberges (Abb. 2a) fällt allerdings die äußerst gleichmäßige Verteilung der momentanen Niederschlagsrate auf, ohne die erwartete Ausbildung von einzelnen Niederschlagszellen oder ähnlichen Formen auf der dem Wind zugewandten Seite. Im Lee treten dagegen über einen gewissen Zeitraum stationäre Zellentwicklungen auf, die durch die hier befindliche Konvergenz der bodennahen Strömung ausgelöst werden.

4. Schlussfolgerung

Das hier vorgestellte Initialisierungsschema erlaubt die Betrachtung des horizontalen Luftdruckgradienten im LM ohne gleichzeitige Störung der Strömung im Modellinnern durch Randeffekte. Neben der Verringerung des Rechenaufwandes durch ein erheblich verkleinertes Modellgebiet können dadurch auch die besonders mit vertikaler Windscherung verbundenen horizontalen Temperaturgradienten in einer ansonsten homogenen Strömung berücksichtigt werden.

Simulationen unter idealisierten Strömungsbedingungen erlauben die Quantifizierung rein orografischer Effekte auf die Niederschlagsbildung. In labil geschichteten Luftmassen kommt es unter bestimmten Voraussetzungen erst durch orografisch induzierte Vertikalbewegungen zu konvektiven Umlagerungen im LM. Die damit verbundenen Niederschläge sind jedoch sehr gleichförmig verteilt entsprechend der verursachenden Hangneigung. Demzufolge erzeugt die dafür verantwortliche Konvektionsparametrisierung für den beschriebenen Fall keine diskreten Zellen mit umgebender Absinkbewegung. Verteilung und Flächenmittel des konvektiven Niederschlags sind daher weiterführend mit einer höher aufgelösten Version des LM zu verifizieren, um die explizite (parametrisierungsfreie) Behandlung dieses Niederschlagsprozesses zu ermöglichen.

Literatur

- Holton, J.R. (1992): An introduction to dynamic meteorology. *Academic Press*, 511 S.
Tiedtke, M. (1989): A comprehensive mass flux scheme for cumulus-parameterization in large-scale models. *Monthly Weather Review* 117, S. 1779-1799.